

# 流れの数値解析ソフト「 $\alpha$ -Flow」に触れて

工学部 機械システム工学科

林 秀千人、富岡 哲朗

hidechto@net.nagasaki-u.ac.jp

## 1. はじめに

当研究室では、空気の流れとそれから発生する音との関係について、研究を進めている。たとえば、窓をわずかに開けたときにすき間風で音が鳴る。これは大きく開けた窓からは発生しない。また、風の強い日には電線などが鳴る。このような現象では、すき間を通る流れや電線など物体の周りの流れの状況が音の発生に密接に関係している。

音の発生原因や条件を解明し把握するためには流れの状況を明確に捉えることが必要である。そのために、以前から計測による実験研究をいろいろと進めてきたが、難しい点がある。測定が困難であったり、いろいろな条件の影響を分離できないで純粹に必要な項目の抽出が困難となって、実験による解析のみでは限界があった。その点、数値解析では実験計測では難しいこれらの問題点を調べることができる。今までは、数値計算プログラムを個別の目的毎にいちいち作成し労力が大変であった。今回、情報処理センターに入っている数値解析ソフトのことで知り、利用できないかと触ってみた。

情報処理センターにある流れの数値解析ソフトは「 $\alpha$ -Flow」といい、以前から耳にしていたものである。ただ当方が今までに市販の数値解析ソフトを利用したことが無く、またセンターでも導入からあまり間が無いこともあり利用者があまり多くないとのことで、このソフトをすぐに使える状況にはなかった。現時点でも、まだまだ研究に利用できる状態とまではいっていない。使用したのは非圧縮性流体解析であるが、当初から境界適合座標系による計算を進めてきたために格子形成でてこずりまだまだ使用しているとは言い難い状況である。ここでは、このソフトに興味を持っておられるかたとの情報交換になればと思い現在までの状況を述べる。

## 2. 「 $\alpha$ -Flow」の概略

$\alpha$ -Flow は、計算領域の格子の形成や境界・初期条件などの入力部、対象とする問題により基礎式が異なる計算部、それに計算結果の出力部から成る。このうち、ユーザーが取り扱うのが主として入力部であり、さらに計算結果の所望する出力である。

入力部のうち計算する流れの領域を細かな格子状に分割する格子形成の部分は、非圧縮性流体

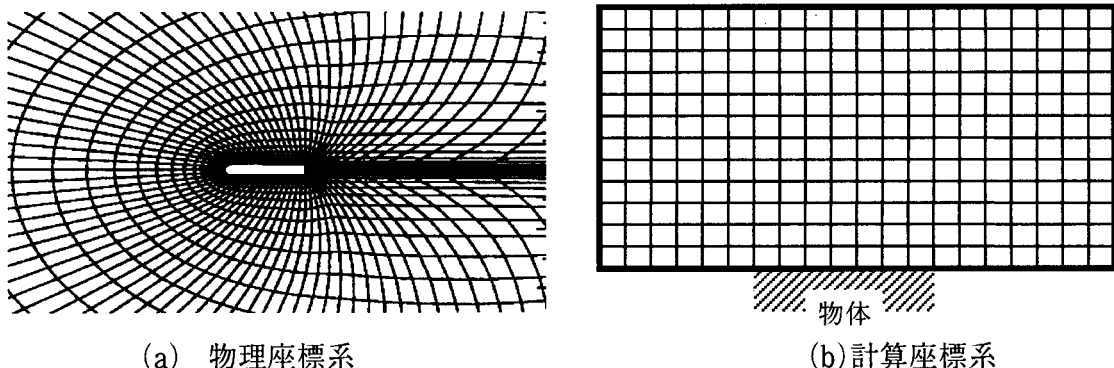


図1 境界適合座標系の概略

表1 条件設定項目の概略

設定項目		設定内容	備考
解析条件	座標系	デカルト, 円筒, 境界適合(BFC)	座標系の選択 境界の種類
	計算条件	運動方程式, ポアソン式 エネルギー方程式	各式の計算の有無 各式の項の設定
	解析方法	定常, 非定常, 収束判 定	収束判別
	解析時間	始め時間, 終了時間, 時間刻み	時間刻みは AUTO が良い
	時間積分法	EULER 法, RRK 法, アダムスバッシュフォース法	精度により考慮
	対流項	対流項スキーム	ドナー法か Quick 法 (風上差分)
	物性値	密度, 粘性係数	
	その他	壁関数, 乱流モデル	
境界条件	流速	境界面領域, 条件	境界面設定とその速度 no-slip, periodic など
	圧力	圧力固定点, 固定圧力	一部領域で指定
初期値	流速, 圧力		

の解析では、通常の三次元座標系（デカルト座標系）、円筒座標系、それに境界適合座標と呼ばれる方法がある。最後のものは曲面で構成される流れの領域（物理座標系）を座標変換によって計算する座標系（計算座標系）に変換して行う方法である（図1参照）。

入力部のうち、条件設定では初期・境界条件や流体の物性などを設定する。大きく分けると、計算式の構成についての解析条件の指定と境界条件の指定、それに初期値の指定に分けられる。解析条件の指定は専門の知識を必要として、指定内容の意味を理解することが困難な点もある。境界条件の指定は境界面の定義を明確にしておくことが重要である。いずれにせよかなり多くの項目について設定を行う必要があり、今までに数値解析を行ったことがないと理解しにくく、わかりにくい。表1に概略を示す。

計算部にはもっとも基本となる非圧縮性流体の解析、速度が大きくマッハ数が0.4を超えるような流れを取り扱う圧縮性流体の解析、さらに境界面が時間とともに変化しする自由表面流れの解析、燃焼や化学反応を伴う流れに用いる解析などがある。いずれも差分法による離散化がなされている。これらの選択は、条件設定で行う。

出力は、格子形状や領域の表示、さらに計算結果については等高線、ベクトル、フリンジ図それに流線、流跡線など流体粒子の軌跡の図がある。これらの出力例を4章に示す。いずれも会話形式で出すことができ、計算結果の吟味をする上で利用しやすい。

### 3. 風洞流れの解析

#### 3.1 格子形成

図2に示すような風洞内の流れの解析に、この解析ソフトを用いた。この場合にもっとも重要な部分であるノズルの形状（図中の右側形状部）をうまく取り扱うことが重要となる。

ノズルは、細まりの単純形状のように見えるが、三次元的に断面形状が変化しておりの確に形状指定を行うためには工夫を必要とする。また、風洞内にはフィルタのような通気性のある障害物があり、その設定を行うことが必要である。

今回の格子形状にて計算を行うためには、コンピュータ上のデータエリアを大きくする必要がある。そのために  $\alpha$ -Flow の環境設定ファイル “.afrc” の位相データエリアサイズを大きくしておく。

利用者のホームディレクトリに \$ALFAHOME/etc の下からファイルをコピーして

```
% cp $ALFAHOME/etcAFrc ~/.afrc
```

そのファイルの一部を変更する。境界適合座標系の場合は下記の行を変更する。

```
#grid generator
```

```
afbfc*topological_area :1000 ->_100000
```

```
afbfc*array_control_area :1000 -> 100000
```

デカルト座標系による格子形成では、以下の手順で格子形成を行う。

まず、afmodel コマンドにて

①流れの領域を囲む全体を直方体領域に形成する。

次に、afdes コマンドにて

②解析領域を指定する。

③解析する領域に格子形成を行う。また、障害物を直方体領域の内部にポーラスとして定義する。

④定義したポーラス領域の流体透過率を指定する。(障害物の程度を指定する)

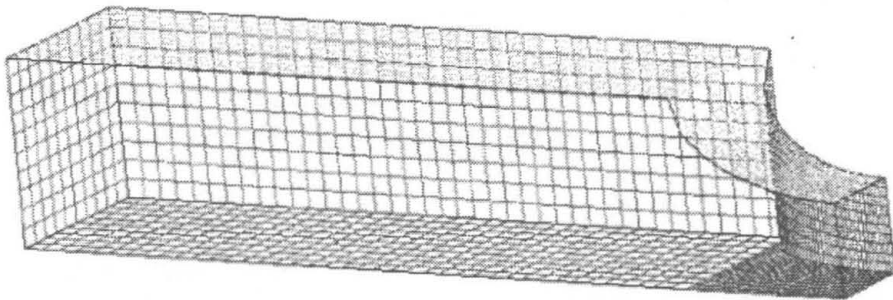
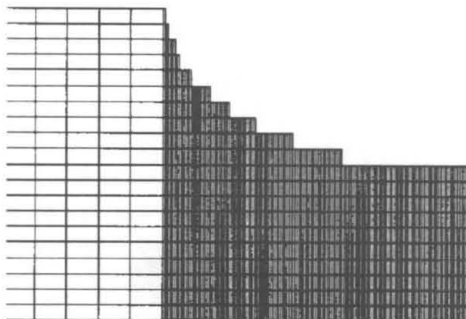
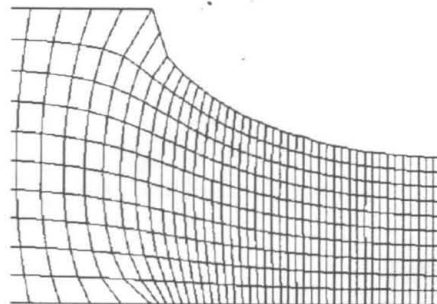


図2 風洞の概略図



(a) デカルト座標系



(b) 境界適合座標

図3 流れ領域の格子形成状況 (二次元断面)

デカルト座標系では、直接三次元座標で領域を指定できる。作成した格子形状の一部断面を図 3 (a) に示す。しかし、この場合は図のように、ノズルのように滑らかな曲線部分も階段状に表わすことになる。したがって、複雑な形状の流路について計算を行う場合には非常に細かな分割を行うことが必要となる。

一方、境界適合座標系では、

まず、afmodel コマンドにて

①二次元平面内の流れ領域を定義する。

①二次元平面物体に高さを付けて三次元流れ領域を定義する。

②上記の①と②の操作を繰り返して作りたいいくつかの三次元流れ領域を連ねて、頂点を合わせる。

③連ねたいいくつかの三次元流れ領域の接触面境界を取り除き 1 つの流れ解析領域とする。

④出来上がった三次元流れ領域の境界面を定義する。

さらに afbfc コマンドにて、境界面上の格子形成を行う。

⑤代数的補間法により面上の格子形成を行う。

⑥楕円型格子形成法にて、形成格子の修正を行う。

この後、条件設定のあとで afbfc3d コマンドを実行し、

⑦流れ領域全体の格子形成を行う。これは自動分割であり、設定する項目はない。

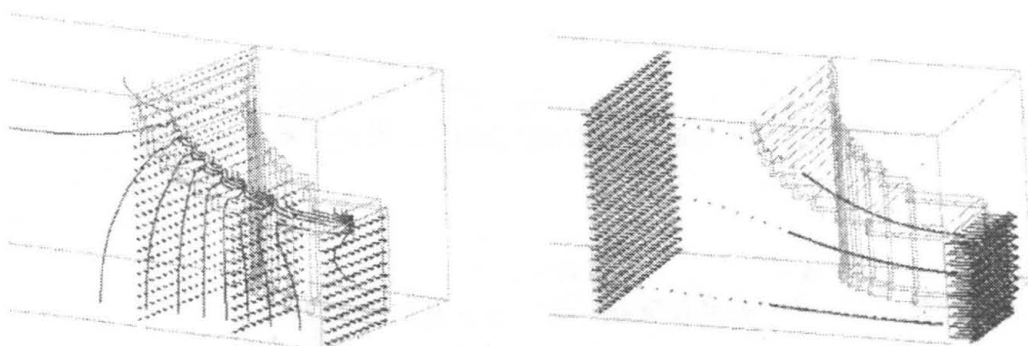
境界適合座標系では、二次元の流れ領域から三次元領域へ拡張するために三次元流れの領域を作成する場合には制作方法をあらかじめよく吟味しておく必要がある。図 3(b) に作成した格子形状の一部断面を示す。図(a)と比べるとノズル部分の形状が階段状でなく、滑らかに合っていること。また、格子がほぼ直交した曲線状に形成されていることがわかる。しかし、底部の中央付近ではいくつかの形状の接合条件の関係で、ひずみが大きくなっている。このように、この座標系では複雑な形状や、角部のような急激な形状変化がある場合には注意が必要であり、適用が難しい。また、作成した格子形状についてうまく切れているかどうか吟味する必要がある。

### 3.2 条件設定

条件設定は、afcond-j コマンドにて行う。表 1 に示したように、種々の項目を指定する必要がある。しかも、スキームの設定やモデルの選択・指定などかなり詳しく難しい。今回の計算では、空気の非圧縮性流体の層流計算を考えた。そのため、エネルギー式は除き、運動方程式も、外力、重力の項は考えず、対流項と圧力項、粘性項を考える。また、温度変化もないので密度も一定とした。境界条件の設定では、設定する境界面を定義する必要があり、格子形成の際の面を定義しそれと関連づける。吸い込み部、吐出部、壁面条件などは面を定義しそこに境界条件を指定する。また、風洞内部のフィルタなどの障害物について、通気性を表わすために損失を設定する。

## 4. 計算結果

図 4 はデカルト座標系で行った計算結果のノズル部分の流速分布を示している。図(a)はいくつかの断面の速度ベクトルおよび流速の等高線である。ディスプレイ上ではカラーであるが、ハードコピーで白黒となりすこしわかりにくくなっている。ノズル入口部では流れ方向が中心方向へ寄り、特に角近くでその傾向が大きくなっている。ノズルの中間部でも、全体に同様のまた増速が進んだ状態が見られる。ただ、曲面壁の極近傍では、等高線でわかるように不自然な分布が現れている。本解析では、この部分がだいたい荒い階段状の形状となったために、流れがそこ

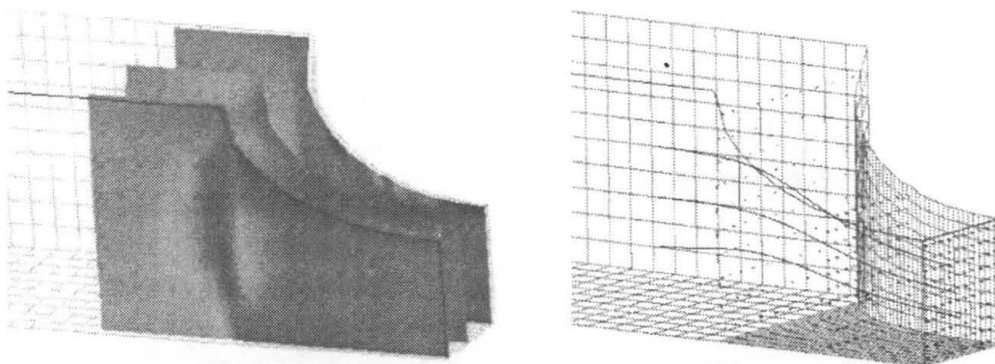


(a) 速度ベクトルと等高線図

(b) 流線分布

図4 デカルト座標系の計算結果

に当たって不自然な結果が出たものと思われる。図(b)はベクトル線図に流線を組み合わせたものである。ノズルに入る前から出口までの流体の動きがこれによって良く分かる。



(a) フリンジ図

(b) 速度ベクトルと流線分布

図5 境界適合座標系の計算結果

図5は境界適合座標系について計算した結果を示している。図(a)は流速の大きさのフリンジ図（色彩の違いで大きさを現わした図）である。ハードコピーではあまり明確ではないが、この図によると曲面壁近傍の流速の変化の様子が、実際の流れをよく表している。また、デカルト座標系に比べてより少ない格子設定で良好な結果が得られている。これは境界適合座標系の利点が現れている。しかし、この格子形状ではノズル始まり部分で格子のひずみがあるために、流速の不自然な変化が図中で帯状に現れている。この格子系では、出来上がった格子が適切なものかまたひずみが現れていないかを十分吟味し、さらに計算結果について格子ひずみによる影響がないかを調べる必要がある。その点で使用に当たっては経験が必要と思われる。図(b)のベクトルと流線分布では図4のデカルト座標と同様に、流れの状況を把握することができる。

## 5. まとめ

今回、風洞内の流れの状況を情報処理センターの流れ解析ソフト  $\alpha$ -Flow を用いて、行ってみた。まだ、十分に使用できる段階までにはないが、感想をまとめると以下となる。

流れの数値解析ソフトとしては、解析条件の種類やその分類などで利用上制限が少ない。ま

た、流れの解析ソフト本体もくせが無く、安心して利用できるものではないかと思われる。ただ、これを使うためには、解析条件の設定においてある程度流れの数値解析についての知識を必要とする。

一方で、格子形成の部分はプログラムの構成を理解するのが難しく、かなりの慣れを必要とする。デカルト座標系では三次元形状として計算領域の設定をやるために慣れると比較的やりやすいが、境界適合座標系では二次元形状から三次元への拡張によって設定するために、十分な考慮の後に格子形成を行う必要がある。また、格子形成のやり直しが簡単にはできず、面倒である。この点で格子形成部は、まだ改善が必要と思われる。

計算結果の出力は、比較的容易に望むグラフを出すことができ利用しやすいのではないだろうか。以上のことから、数値解析による流れの解析を行う場合に、このソフトを使うことは有効であると思う。その場合に、まずデカルト座標系で解析を行うことを進める。デカルト座標系による解析であれば多大な苦勞をせずに行うことが可能と思われる。更なる検討が必要な場合に、境界適合座標系でのアプローチを試みる方が、効率的に利用するためには良いようである。ただ、流れの数値解析では結果の評価が重要であり、このソフトに限らず計算をすれば終わるものではない。ソフトによって得られた結果が物理的に妥当なものであるかどうか十分に吟味することが必要である。

最後に、このソフトを曲がりなりにも利用できるようになったのは、「 $\alpha$ -Flow」の開発部といろいろと問い合わせをしていただき対処していただいた総合情報処理センターの山口正道氏のおかげである。ここに感謝の意を表わす。